

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

10875 U.S. PTO  
09/626106  
07/26/00

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1999年 7月27日

出 願 番 号

Application Number:

平成11年特許願第211419号

出 願 人

Applicant (s):

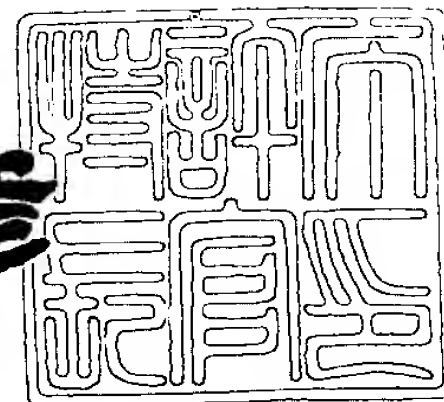
日立建機株式会社

T. Morimoto et al  
filed 7-26-00  
703-684-1120  
TPD-13

2000年 4月14日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

近藤 隆彦



出証番号 出証特2000-3024607

【書類名】 特許願

【整理番号】 P99026

【提出日】 平成11年 7月27日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G01B 21/30

【発明者】

    【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町 6 5 0 番地 日立建機株式会社 土  
浦工場内

    【氏名】 黒田 浩史

【発明者】

    【住所又は居所】 茨城県土浦市神立町 6 5 0 番地 日立建機株式会社 土  
浦工場内

    【氏名】 森本 高史

【特許出願人】

    【識別番号】 000005522

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 6 番 2 号

    【氏名又は名称】 日立建機株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100094020

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 田宮 寛祉

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 007766

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 走査型プローブ顕微鏡とその走査方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 試料の表面に臨む探針と、サンプリング位置での測定動作でサーボ制御系に基づき前記探針と前記試料の表面との間の距離を設定された基準距離に保つサーボ制御手段を備え、前記探針と前記試料の間を前記基準距離に保持しながら前記表面を前記探針で走査して前記表面を測定する走査型プローブ顕微鏡において、

前記探針による前記試料の表面の走査を広域的に行わせる移動機構と、

前記サンプリング位置で前記探針を前記試料の表面に接近させ、前記サンプリング位置の間の移動では前記探針を前記試料の表面から退避させる接近・退避手段と、

前記サンプリング位置で前記探針を前記試料の表面に接近させ測定動作を行うとき、前記探針を前記移動機構による走査移動と同等速度で同方向に伴走させる補助移動機構と、

からなることを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 2】 前記移動機構は、前記試料を搭載し、前記試料を走査方向に mm の長さ単位で移動させる試料ステージであることを特徴とする請求項 1 記載の走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 3】 前記移動機構による移動動作は等速度で行われることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 4】 試料の表面に臨む探針を備え、前記探針と前記試料の間を所定距離に保持しながら前記表面を前記探針で走査して前記表面を測定する走査型プローブ顕微鏡の走査方法であり、

前記表面における測定領域は相対的に広く、この測定領域で離散的に複数のサンプリング位置を設定し、移動機構による走査移動を行うとき、前記サンプリング位置の間の移動では前記探針を前記試料の表面から退避させて移動させる共に、前記サンプリング位置の各々では前記探針を前記試料の表面に接近させて測定動作を行い、

前記探針が前記試料の表面に接近して測定動作を行うとき、補助移動機構によって、前記移動機構による走査移動と同等速度で同方向に伴走用の走査移動を生じさせる、

ことを特徴とする走査型プローブ顕微鏡の走査方法。

【請求項 5】 前記伴走用走査移動は前記サンプリング位置ごとに間欠的に行われることを特徴とする請求項 4 記載の走査型プローブ顕微鏡の走査方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、走査型プローブ顕微鏡およびその走査方法に関し、特に、例えば半導体製造工程の分野で必要性が高い CMP（化学機械研磨）の工程での研磨評価のため観察視野をミリメートル級に拡大するのに適した走査型プローブ顕微鏡およびその走査方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

走査型プローブ顕微鏡は、原子間力顕微鏡に代表されるように、例えば半導体基板の表面凹凸を測定するごとく、探針と試料表面の間に作用する原子間力を利用して微細な凹凸形状を測定・観察するのに利用されている。試料表面における走査範囲は、走査用アクチュエータとして圧電素子が一般的に使用され、圧電素子によって得られる変位量は例えば  $\mu\text{m}$ （ミクロンメートル）級のストローク、大きくても  $100\mu\text{m}$  程度であり、極めて微小なものである。他方、近年では、走査型プローブ顕微鏡において広域に走査して広域領域を観察できることが望まれている。具体的に述べると、半導体製造工程での製造対象物の微小化に伴って、半導体基板の表面の平坦性、あるいは各種半導体デバイスの製造工程により基板表面上に堆積された膜の表面の平坦性の評価に対する必要性が高くなっている。特に CMP による平坦化工程の評価では、数  $\text{mm}$ （ミリメートル）から数十  $\text{mm}$  の広い範囲の凹凸形状を  $\text{nm}$ （ナノメートル）の分解能で測定することが求められる。

【0 0 0 3】

上記のごとき微小測定であって大視野の観察が可能な装置として、従来では、走査型プローブ顕微鏡の代わりに、例えば特開平 1 0 - 6 2 1 5 8 号公報に開示される装置が提案されていた。この公開公報に開示される装置は表面粗さ計であり、その従来技術の欄では触針式と光学式の表面粗さ計について記述されている。触針式の表面粗さ計は、試料の表面に針部材を接触させ、試料表面を針部材で走査して試料表面の凹凸形状を測定する。針部材の動きは差動トランス式の検出器により検出される。他方、光学式の表面粗さ計は、試料表面の凹凸形状が光学的変位検出系で検出される。表面粗さ計は本来的に機械的な構造で試料表面を広域的に観察できるように構成されたものである。針部材は試料表面に接触し、機械的な構造によって試料表面が変形・破壊されること、および分解能が低いこと等の理由から、上記公開公報では針部材として原子間力顕微鏡で使用するカンチレバーを使用することを提案し、表面粗さ計に原子間力顕微鏡の特徴を利用することを提案している。

## 【 0 0 0 4 】

## 【発明が解決しようとする課題】

本来ミクロンメートル ( $\mu\text{m}$ ) 級の測定を行う従来の走査型プローブ顕微鏡の測定・観察において、その走査範囲をミリメートル ( $\text{mm}$ ) の範囲に拡大した場合、試料表面における探針の移動距離は長くなる。従来の通常の測定方法によれば、その移動の間、探針はその先端が試料表面に極めて接近した状態で移動することになり、後述するとき摩擦力や吸着力等の諸問題が提起され、測定に再現性が得られない場合が生じる。また前述の特開平 1 0 - 6 2 1 5 8 号公報に開示される装置では、表面粗さ計において原子間力顕微鏡のカンチレバーの探針を利用することにより、従来の表面粗さ計に比較して、試料表面に加えられる接触圧力を低減できたことを効果として主張しているが、この装置であっても単に原子間力顕微鏡のカンチレバーを使用するだけでは、走査ストロークを大きくすることができないものの、測定再現性は低下する可能性が高く、上記問題の解決は困難である。

## 【 0 0 0 5 】

原子間力顕微鏡等で走査範囲が  $\text{mm}$  級の広域の測定を行う場合、迅速な測定を



行うためには、一般的に、測定データを得るためのサンプリング位置のみで探針を試料表面に接近させ、サーボ制御系に基づいて試料表面に対する探針の高さ位置を設定された基準位置に保持し、サンプリング位置の間は移動のための区間とし、移動の区間中は探針を試料表面から退避させ、離れた状態で移動を行うようにする構成が容易に考えられる（特開平 2 - 5 3 4 0 号公報等）。このような構成の場合にも、探針が試料表面に接近して表面追従の測定動作を行うときに前述の諸問題に起因して測定の再現性低下の問題を考慮することが必要となる。

## 【 0 0 0 6 】

次に図 8 ～ 図 1 0 を参照して前述の測定の再現性低下の問題を詳述する。図 8 と図 9 では、1 0 1 はカンチレバー、1 0 2 はカンチレバー 1 0 1 の先端に設けられた探針である。カンチレバー 1 0 1 は細い実線と、太い実線の 2 種類が描かれている。細い実線のカンチレバーは力を受ける前の状態、太い実線のカンチレバーは力を受けた後の状態を示している。探針 1 0 2 の先端は、図示しない試料の表面に向いている。探針と試料の間の距離は互いに原子間力の影響を及ぼし合う程度の距離に接近させられている。カンチレバーの背面には光てこ式光学検出系のレーザ光源（図示せず）から出射されたレーザ光 1 0 3 が照射され、反射されたレーザ光 1 0 3 は例えば 4 分割光検出器（図示せず）に入射される。カンチレバー 1 0 1 では、探針・試料間が所定の距離になるように設定されたとき、所定のたわみ変形が生じている。探針 1 0 2 が試料の表面からさらに力を受けると、カンチレバー 1 0 1 は太い実線で示すごとくさらにたわみ変形が生じる。その変形の仕方は受ける力に依存して決まる。

## 【 0 0 0 7 】

図 8 に示された状態では、望ましい正常な測定状態を示し、原子間力顕微鏡で探針に対して試料表面に垂直な方向の力のみが働いていることを想定している。この状態では、試料表面に対する垂直方向（Z 方向）1 0 4 の力によるカンチレバー 1 0 1 の変位のみをサーボ制御系の信号源として用いている。探針による試料表面の走査が停止しているとき、摩擦による試料表面の平行方向の力が働かないので、上記の垂直方向 1 0 4 の力のみによってカンチレバー 1 0 1 はたわむ。その結果、光検出器の受光面における照射スポットは、1 0 5 で示される通り、

垂直方向のみに変位する。105による表記は、たわみ成分とねじれ成分の合成で形成される照射スポットの位置を表示している。

## 【0008】

他方、探針102による試料表面の走査が行われると、探針と試料の間で摩擦力が発生する。この摩擦力に起因して探針102に対して試料表面に平行な方向（Y方向）106の力が作用するので、図9に示される通り、カンチレバー101にねじれが発生する。このため、たわみ変形とねじれ変形の各々の成分が合成され、本来の垂直方向の力が変化していないにも拘らず、反射による照射スポットが、たわみ変形による変化があったかのごとく、その位置を変位させるということが起きる。このような場合には、測定動作のためのサーボ制御系は、4分割光検出器の受光面における照射スポットをもとの位置に戻そうとして、探針102が試料へ押し付けられる方向へ駆動する。その結果、探針102の押付け力が一定でなくなるという問題が起きる。

## 【0009】

さらに、探針の先端に作用する試料表面に平行な力の原因として表面吸着力を挙げることができる。図10に示すごとく、通常の大気中では、試料107の表面は吸着水108で覆われている。この表面吸着水108の層の厚みは一定ではない。例えば、試料表面に凹凸構造が形成されている場合に、凸部109の上側縁部は吸着水の厚みは薄くなっている。この厚みの違いは、試料表面の平行方向110の力の違いとなって作用する。従って、本来的にサーボ制御系にとって負荷が大きな凹凸部分で、このような外乱が加わることになり、測定の再現性が低下することになる。なお説明を分かりやすくするため、カンチレバーの長手方向と直交する方向に走査し、摩擦力等がねじれ変形を引き起こす場合について説明したが、カンチレバーの長手方向に一致する方向に走査する場合をはじめ、どのような方向であっても摩擦力等の外乱が測定の再現性を低下させるのは同様である。

## 【0010】

本発明の目的は、上記の問題を解決することにより、探針が試料表面に接近して試料表面を走査するとき、摩擦力や、表面吸着層の厚みの違い等が原因で探針

に対する試料表面に平行な方向の力の影響による測定誤差を除去し、測定再現性を良好にし、特に広域測定に適した走査型プローブ顕微鏡およびその走査方法を提供することにある。

【0 0 1 1】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る走査型プローブ顕微鏡およびその走査方法は、上記目的を達成するために、次のように構成される。

【0 0 1 2】

本発明に係る走査型プローブ顕微鏡は、試料の表面に臨む探針と、サンプリング位置での測定動作でサーボ制御系に基づき探針と試料の表面との間の距離を設定された基準距離に保つサーボ制御手段とを備え、探針と試料の間を所定距離に保持しながら試料表面を探針で走査して表面の凹凸形状等を測定する走査型プローブ顕微鏡である。探針は、通常、カンチレバーの先端に形成され、測定動作の際にはカンチレバー全体として試料表面に接近（接触または非接触で）させられている。原子間力顕微鏡等では、探針は試料表面から原子間力等を受け、カンチレバーは基準のたわみ変形量で変位を生じている。かかる変位は、通常、光てこ式光学検出系で検出される。上記走査型プローブ顕微鏡は、さらに、上記探針による試料の表面の走査を広域的に行わせる移動機構（X Y スキャナ）と、サンプリング位置で探針を試料の表面に接近させ、サンプリング位置の間の移動では探針を試料の表面から退避させる接近・退避手段（例えば接近・退避用圧電素子 1 8）と、サンプリング位置で探針を試料の表面に接近させ測定動作を行うとき、移動機構による走査移動とほぼ同等の速度で同方向に伴走用の走査移動を生じさせる補助移動機構（例えば圧電素子 1 7 の X Y 方向微動部）とから構成される。上記の移動機構は、測定の際に、大きなストロークで走査移動を生じさせる主走査装置であり、上記の補助移動機構は、走査移動の際に、探針と試料の表面との間において、測定上好ましくない試料表面に平行な方向の力が探針に加わることを避けるために、相対的な速度が生じないように伴走動作を生じさせる従走査装置である。

【0 0 1 3】



本発明の走査型プローブ顕微鏡では、広域範囲の測定を行う際に、測定箇所をサンプリング位置として離散的に選択して設定し、サンプリング位置間の移動のときには探針は試料表面から退避した状態で移動し、測定を行うサンプリング位置のみで探針が試料表面に接近して測定を行うように構成され、試料表面に垂直な探針の高さ方向の移動に関しては、接近・退避動作と、測定のための試料表面追従動作とがある。測定領域を走査するときサンプリング位置に到達するたびに、探針は試料に接近し、試料表面に追従する測定動作を行うが、そのときに、移動機構による主の走査移動に対して、探針側も伴走するように従の走査移動を生じさせるべく補助的移動機構を設けている。このような構成によって、摩擦力や表面吸着層等による試料表面に平行な力（水平方向等）が探針に影響を与えるのを防止し、再現性の良い測定を可能する。

## 【0014】

上記の構成において、好ましくは、上記移動機構は試料を搭載しかつ試料を例えば水平方向等の走査方向にmmの長さ単位で移動させる試料ステージである。さらに上記移動機構による移動動作は等速度で行われることが好ましい。

## 【0015】

本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の走査方法は、試料の表面に臨む探針を備え、サーボ制御系の制御に基づき探針と試料の間を所定距離に保持しながら試料表面を探針で走査してこの表面の凹凸形状等を測定する方法であり、試料表面における測定領域は相対的に広く、この広域の測定領域で離散的に複数のサンプリング位置を設定し、移動機構による走査移動を行うとき、サンプリング位置の移動では探針を試料表面から退避させて移動させると共に、サンプリング位置の各々では探針を試料表面に接近させて測定動作を行い、さらに、探針が試料表面に接近して測定動作を行うとき、補助移動機構によって、移動機構による走査移動とほぼ同等の速度で同方向に伴走用の走査移動を生じさせる走査方法である。この走査方法では、探針を試料表面に所定の距離で接近させ、試料表面に探針を追従させて試料表面の凹凸等を測定するとき、試料の移動による走査移動と実質的に同じ速度で探針も移動させることにより、試料表面に沿う方向の力が探針に働かないようにするものである。

## 【0 0 1 6】

上記の走査方法において、上記の伴走用走査移動はサンプリング位置ごとに間欠的に行われる。測定個所であるサンプリング位置では、探針は、原子間力等が生じる程度に試料表面に接近させられるので、そのたびに上記の伴走用走査移動を行うようにしている。

## 【0 0 1 7】

## 【発明の実施の形態】

以下に、本発明の好適な実施形態を添付図面に基づいて説明する。

## 【0 0 1 8】

図 1 は本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の一例を示し、原子間力顕微鏡の全体を示すシステム構成を示している。図 2 は上記原子間力顕微鏡において試料の表面を探針で走査しながら特定の領域を観察する場合に広域の走査に基づいて広い範囲を測定するときの探針の位置変化の仕方（接近・退避、および表面追従）に関する制御方法、タイミングチャート、X 方向および Z 方向の探針移動の際の各部の電圧信号の波形チャートと高さ方向の探針位置を示し、図 3 は、探針が試料表面に接近したときの探針の X 方向の伴走用の移動動作を説明するための速度関係を示すタイミングチャートである。探針の位置の変化は、試料表面に沿う X Y 方向の探針の走査動作と、試料・探針間の距離を調整する高さ方向（Z 方向）の移動動作とによって生じさせられる。

## 【0 0 1 9】

全体的なシステム構成は、図 1 に示すごとく、水平に保持されたテーブル 1 1 の上に X Y スキャナ 1 2 が配置され、その上に観察対象である試料 1 3 が配置されている。図 1 においてテーブル 1 1 の表面に平行な面は例えば水平面であり、ここでは直交の 2 軸 X, Y により X Y 平面と定義される。試料 1 3 は例えば半導体ウェハのごとき薄板の基板状部材であり、観察しようとする面を上面として配置されている。X Y スキャナ 1 2 は試料 1 3 を X 方向あるいは Y 方向へ相対的に大きな距離で移動させる移動機構であり、主走査装置（主スキャナ）として機能する。X Y スキャナ 1 2 は、例えばパルスモータ等を利用して構成される移動用試料ステージとして構成されている。X Y スキャナ 1 2 による X Y 方向の移動ス

トロークはmm（ミリメートル）の長さ単位で行われ、例えば数十mmのストロークが設定される。またXYスキャナ12の上に搭載された試料13に対しては、その上面を観察すべく、その上側に、先端に探針14が形成されたカンチレバー15が配置される。探針14の先端は試料13の表面に臨んでいる。上記の構成の結果、試料13をXYスキャナ12で移動させることにより、試料13に臨む探針14が相対的な位置関係として試料表面を広い範囲で走査し、広域走査に基づく広域領域の測定を行うことが可能となる。

## 【0020】

上記カンチレバー15はその基端が固定され、探針14が設けられた先端は自由端となっている。カンチレバー15は小さいバネ定数を有する弾性レバー部材であり、先端の探針14と試料13の間で原子間力が生じると、受ける力に応じてたわみ変形が生じる。16は、その下端に上記カンチレバー15を取付け、カンチレバー15を図1中の水平面に垂直な方向（Z方向）に移動させるZ方向駆動装置である。Z方向駆動装置16は、好ましくは、上下の位置に配置された2つの圧電素子17、18で構成されている。圧電素子17は通常の測定・観察を行う際に使用される圧電素子である。圧電素子17はX、Y、Zの3軸方向に変位を生じする3軸圧電素子として構成され、従来のチューブ型圧電微動素子あるいはトライポッド圧電微動素子が使用される。圧電素子17のZ方向の微動に関係する部分（Z方向微動部）は、試料表面に対する探針14の高さ位置を設定された基準の一定位置に保持するためのサーボ用圧電素子を構成し、測定の際にはサーボ制御系の下でその動作が制御される。さらに圧電素子17によるXY方向の微動に関係する部分（XY方向微動部）は、後述する伴走用の走査移動を行う従走査装置（従スキャナ）を構成する。また圧電素子18は、探針14すなわちカンチレバー15の全体を、試料13の表面に接近させたり、当該表面から退避させたりするための接近・退避用圧電素子である。このようにカンチレバー15（探針14）をZ方向に移動させるためのZ方向駆動装置16は2つの圧電素子による2段構成によって形成されている。好ましくは、Z方向駆動装置16を1つの圧電素子で形成し、これを2分割することにより上記圧電素子17、18を形成する。なおZ方向駆動装置16は、実際には、図示しない顕微鏡フレームに

固定されている。

### 【0021】

なお上記のZ方向駆動装置16では、圧電素子17の下側に接近・退避用圧電素子18を設けた構造となっているが、取付け構造を反対にし、接近・退避用圧電素子18の下側に圧電素子17を設けるように構成することもできる。

### 【0022】

上記の構成によれば、XYスキャナ12上に搭載された試料13の表面に対して探針14を間隔をあけて臨ませた状態において、XYスキャナ12で試料13をXY方向へ相対的に大きなストロークで移動させつつ、カンチレバー15すなわち探針14の試料表面に対する高さ位置をZ方向駆動装置16の圧電素子17、18で調整することにより、試料表面においてミリメートル級の走査範囲に基づく広域観察を行うことが可能となる。探針14の試料表面に対する高さ位置を調整するZ方向駆動装置16について、圧電素子18は試料表面の広域測定領域で一定間隔で設定された多数のサンプリング位置の各々で探針14（カンチレバー15）を試料表面に所定間隔で接近させまたは試料表面から退避させるためのアクチュエータであり、圧電素子17は上記の各サンプリング位置での接近状態で通常の測定・観察のためのサーボ制御および伴走動作に基づき試料表面の凹凸形状に沿って試料表面の測定データを得るためのアクチュエータである。従って、試料13の表面を広域走査で測定するときに、探針14は、圧電素子18によりサンプリング位置のみにおいて接近させられ、圧電素子17を利用して伴走動作を行いながら表面追従を行って試料表面の凹凸形状に関する測定データを取得し、或るサンプリング位置から他のサンプリング位置への探針14の移動は、圧電素子18による退避動作により探針は試料表面から離れた状態で行われる。

### 【0023】

上記において、XYスキャナ12のX、Yの各ストロークは例えば最大200mmであり、圧電素子17のストロークは、例えば、X、Yでは10 $\mu$ m、Zについては5 $\mu$ mである。また圧電素子18のストロークは上記の接近・退避を行えるように適宜に設定される。接近・退避用のアクチュエータは上記のごとく長いストロークで伸縮する圧電素子18が好ましいが、これに限定されるものでは



ない。また探針側の Z 方向駆動装置 1 6 を 2 段構成とするのではなく、接近・退避用の圧電素子 1 8 を設けず、その代わりに接近・退避用の駆動装置の構成を試料側のステージに組み込むようにすることも可能である。この場合には、上記の X Y スキャナは、Z 方向の移動も可能な 3 軸スキャナとして構成されることになる。

## 【0 0 2 4】

試料 1 3 の上方に配置されるカンチレバー 1 5 に対して、試料表面に対する探針 1 4 の高さ位置（Z 方向の変位）を検出するための検出系が設けられる。この検出系はカンチレバー 1 5 のたわみ変形とレーザ光とを利用して構成される光てこ式光学検出系である。光てこ式光学検出系は、カンチレバーの背面に形成された反射面に対してレーザ光 2 1 を照射するレーザ光源 2 2 と、当該背面で反射されたレーザ光 2 1 を受ける例えば 4 分割型光検出器 2 3 から構成される。レーザ光源 2 2 と光検出器 2 3 は、例えば、下側の圧電素子 1 8 の下面に設けられ、圧電素子 1 7、1 8 の伸縮動作に伴って一緒に上下動を行うようになっている。カンチレバー 1 5 の背面で反射されたレーザ光 2 1 による反射スポットが光検出器 2 3 の 4 分割された受光面に入射される。探針 1 4 が試料表面から原子間力を受けた状態で探針・試料間の距離が変化すると探針が受ける原子間力が変化し、探針 1 4 の高さ位置が変位し、カンチレバー 1 5 のたわみ変形量が変化する。カンチレバー 1 5 のたわみ変形量の変化量に応じて光検出器 2 3 の受光面におけるレーザ光 2 1 の反射スポットはその中心位置から変位するので、探針・試料間の距離が設定された基準の一定距離に保持されるように、後述するサーボ制御系によって、試料表面に対する探針 1 4（カンチレバー 1 5）の高さ位置が調整される。これにより光検出器 2 3 の受光面におけるレーザ光 2 1 の反射スポットの位置も探針・試料間の設定された一定間隔に応じた位置に保持される。

## 【0 0 2 5】

次に制御系について説明する。2 4 は圧電素子 1 7 の Z 方向の伸縮動作を制御するサーボ制御装置である。サーボ制御装置 2 4 は、上記の光検出器 2 3 から出力される探針・試料間距離を表す検出信号 s 1 を入力する。サーボ制御装置 2 4 は、入力された検出信号 s 1 と設定された基準の一定距離を表す信号との差を求



め出力する減算器と、この減算器から出力された差信号が 0 となるように圧電素子 1 7 の Z 方向微動部を動作させる制御用電圧信号  $V_z$  を作成して出力する制御回路とから構成される。試料表面の各サンプリング位置において、試料 1 3 に対して探針・試料間で原子間力が作用する程度に探針が接近するように圧電素子 1 8 によりカンチレバー 1 5 を移動させた状態で、上記の光てこ式光学検出系、サーボ制御装置 2 4、圧電素子 1 7 の Z 方向微動部によってサーボ制御のフィードバックループが形成され、このサーボ制御ループによってカンチレバー 1 5 のたわみ変形量が一定になるように保持され、探針・試料間の距離が設定された基準距離に保持される。

## 【0 0 2 6】

2 5 は上位の制御装置であり、制御装置 2 5 は信号処理装置と記憶部と表示装置と入力部などからなる例えばパーソナルコンピュータで構成されている。制御装置 2 5 は、電圧信号  $V_0$  によってサーボ制御装置 2 4 内に設定される上記基準距離の情報を与えると共に、サーボ制御装置 2 4 から圧電素子 1 7 の Z 方向微動部に与えられる制御用電圧信号  $V_z$  を入力するように構成される。また制御装置 2 5 は、主走査を行うための X Y 走査回路を内蔵し、試料 1 3 を搭載しこれを X Y 方向に走査移動させるための X Y スキャナ 1 2 に対してその動作を制御する走査制御信号  $s_2$  を与える。試料 1 3 を移動させるための走査データは制御装置 2 5 内の X Y 走査回路で生成され、走査制御信号  $s_2$  として X Y スキャナ 1 2 に出力されると共に制御装置 2 5 の記憶部に保存される。従って、制御装置 2 5 の記憶部には試料 1 3 の表面における測定領域が走査範囲データとして記憶されている。特に本実施形態の場合、上記 X Y スキャナ 1 2 を動作させることにより mm (ミリメートル) 級の広域走査による広域測定が行える。制御装置 2 5 は、測定領域に関する上記の走査データ (サンプリング位置の位置データ) と、各サンプリング位置でのサーボ用圧電素子 1 7 に印加される電圧信号  $V_z$  (試料 1 3 の表面に対する高さデータ) とを組み合わせることにより、試料 1 3 の観察表面についての凹凸形状に関する画像データが作成され、表示部の画面に観察画像が表示される。

## 【0 0 2 7】

さらに制御装置 2 5 は、或るサンプリング位置での測定が終了した後、次のサンプリング位置へ移動するときに、上記測定が終了した時点の圧電素子 1 7 への印加電圧  $V_z$  をホールドすべくホールド信号  $s_3$  を圧電素子 1 7 へ与える。ホールド信号  $s_3$  は電圧素子 1 7 に印加される電圧  $V_z$  の値のホールド状態をオンまたはオフする。加えて制御装置 2 5 は、伴走を行う従走査のための XY 走査回路を内蔵し、この XY 走査回路から圧電素子 1 7 の XY 方向微動部に対して走査信号  $s_4$  が与えられる。

## 【0028】

さらに制御装置 2 5 は、Z 方向駆動装置 1 6 の接近・退避用圧電素子 1 8 に対して接近動作のための伸張、および退避動作のための収縮を行わせるための制御用電圧信号  $V_r$  を出力する。電圧信号  $V_r$  は試料表面の測定領域でサンプリング位置のみで圧電素子 1 8 に与えられ、各サンプリング位置で圧電素子 1 8 は探針 1 4 の接近・退避のための伸縮動作を行う。サンプリング位置の間を探針 1 4 が移動するときには、探針 1 4 (カンチレバー 1 5 全体) は退避させられ、試料 1 3 の表面から離れた状態で移動を行う。試料 1 3 の測定表面におけるサンプリング位置の位置情報は予め制御装置 2 5 側に用意される。また接近・退避用圧電素子 1 8 の接近のための伸張動作量および退避のための収縮動作量は予め制御装置 2 5 側で設定されている。

## 【0029】

図 2 を参照して上記構成を有する原子間力顕微鏡の探針の接近・退避および測定の動作を説明する。図 2 では構成図 (A) とタイミングチャート (B) が示される。

## 【0030】

この原子間力顕微鏡によれば前述の通り試料 1 3 の表面で広域測定を行うことが可能となる。広域測定のために広域走査を行う必要があるが、XY スキャナ 1 2 によって試料 1 3 を移動することにより広域走査が行われる。また試料 1 3 の表面に対する探針 1 4 の高さ位置  $H$  は Z 方向駆動装置 1 6 の圧電素子 1 7, 1 8 の伸縮動作で調整される。図 2 の上側の構成図 (A) に示されるように、前述のごとくサンプリング位置での探針の接近・退避動作は電圧信号  $V_r$  で制御される

圧電素子 1 8 の伸縮動作で行われ、サンプリング位置での測定・観察のための動作は電圧信号  $V_z$  で制御される圧電素子 1 7 の伸縮動作で行われる。なお広域走査範囲は一辺が例えば 20 mm の正方形範囲であり、この広域走査範囲で例えば 500 点のサンプリング位置が設定される。ステージの走査方向とカンチレバーの設置方向はこれに限定されるものではない。

### 【0031】

さらに図 2 のタイミングチャート (B) では、一例としてサンプリング位置  $P_1$  で測定を行い、その後サンプリング位置  $P_2$  へ移動して測定を行う動作例が示されている。タイミングチャート (B) では、上段から、XY スキャナ 1 2 に含まれる X スキャナによる X 方向の速度、電圧  $V_z$  のホールド状態、サーボのオン・オフ (ON/OFF) 状態、電圧  $V_z$  の変化状態、電圧  $V_r$  の印加状態 (ON/OFF 状態)、試料表面からの探針の高さ  $H$  の変化状態のそれぞれを示している。またタイミングチャートで横軸は時間の経過を示すが、図 2 では移動方向である X 方向に対応させて示している。X スキャナによる速度は一定値に保持されるので、試料表面に対して探針は停止することなく等速度で走査を継続する。最初の状態①ではサンプリング位置  $P_1$  に到達する手前の状態であるので、探針 1 4 は試料 1 3 の表面から離れ退避状態にて移動の状態にある。従って、電圧  $V_r$  はオフされており、圧電素子 1 8 の変位は最少である。また電圧  $V_z$  のホールド状態はオンであって前回の測定で決まった値に保持され、サーボ制御はオフの状態になっている。状態②ではサンプリング位置  $P_1$  に到達したので、サーボの状態がオンになり、電圧  $V_z$  のホールド状態が解除される。また電圧  $V_r$  もオンになるので、圧電素子 1 8 も伸張し、探針 1 4 は試料の表面に接近する。サーボ状態がオンになっているので、探針 1 4 が試料表面に接近して設定された基準距離になると、上記サーボ制御系によりサーボが働く。実際に、探針 1 4 が予め設定された押し付け力で試料 1 3 の表面に押し付けられるように、圧電素子 1 7 の Z 方向微動部は電圧  $V_z$  によって駆動される。圧電素子 1 7 の Z 方向微動部が作動し、サーボ制御系が働くことによって電圧  $V_z$  が変化する。サンプリング位置  $P_1$  である状態③に達したとき、電圧  $V_z$  が記録される。こうしてサンプリング位置  $P_1$  で試料表面の凹凸形状が測定される。その後の状態④では、次のサンプリ

ング位置 P 2 に移動するための準備がなされる。すなわち電圧  $V_r$  がオフになって圧電素子 1 8 を収縮させ、探針 1 4 を試料表面から退避させる。さらに電圧  $V_z$  のホールド状態をオンにし、サーボの状態をオフにする。この結果、探針 1 4 は試料 1 3 の表面から離れた状態で次のサンプリング位置 P 2 に向かって移動する。次のサンプリング位置 P 2 の状態⑤でも、前述と同様な動作が繰り返され、測定電圧  $V_z$  が記録される。

### 【 0 0 3 2 】

上記の動作において、試料表面からの探針の高さ H の変化によって、探針の接近動作、退避動作が明らかにされる。サンプリング位置 P 1, P 2 のみで接近動作が行われ、このとき電圧  $V_r$  のホールド状態が解除されかつサーボがオンになって圧電素子 1 7 の Z 方向微動部を駆動することによって駆動用電圧  $V_z$  を求め、本来の試料表面測定が行われる。サンプリング位置での測定を行った後に次のサンプリング位置へ移動するときには、圧電素子 1 7 の Z 方向微動部を駆動する印加電圧  $V_z$  をホールドする。これにより、広域の走査範囲による測定であっても、設定されたサンプリング位置のみで試料表面に接近してサーボ制御系の作用により測定を行って電圧  $V_z$  を取得し、サンプリング位置の間の移動では電圧  $V_z$  をホールドすることにより、接近・退避動作を行わない従来の通常の原子間力顕微鏡による狭域測定と同等の精度の測定を行うことができる。またサンプリング位置の間の移動は試料表面から探針を退避させた状態で移動するので、移動中に探針が資料表面に接触するのを防止し、探針の摩耗を防止でき、大視野観察を高速に行うことができる。

### 【 0 0 3 3 】

次に図 3 を参照して、原子間力顕微鏡の探針の接近・退避および測定の動作を図解した図 2 に関連させて、測定動作の際の伴走動作について説明する。図 3 においても、構成図 (A) と、XY スキャナ 1 2 による走査移動と圧電素子 1 7 の XY 方向微動部による走査移動のタイミングチャート (B) が示されている。図 3 のタイミングチャート (B) では、圧電素子 1 7 の XY 方向微動部 (従スキャナ) の従走査用の速度、XY スキャナ (主スキャナ) 1 2 の主走査用の速度、それらの速度に基づく探針と試料の間の相対速度、試料表面からの探針高さ H がそ



れぞれ示されている。図 3 において、構成図 (A)、(B) におけるサンプリング位置 P 1、P 2、状態①～⑤は、図 2 で説明されたものと同じである。

#### 【0 0 3 4】

前述の通り、サンプリング位置 P 1 では、制御装置 2 5 の制御の下で X Y スキャナ 1 2 が例えば X 方向に試料 1 3 を一定速度（等速度）で移動させ、主走査用の移動を行っている。サンプリング位置 P 1 で、前述のごとく探針 1 4 が試料 1 3 の表面に接近を開始すると、同時に、制御装置 2 5 は走査信号 s 4 によって圧電素子 1 7 の X Y 方向微動部の動作を制御し、特にこの場合には X 方向の微動に関して、X Y スキャナ 1 2 による X 方向の移動速度と同等の速度で移動を開始する。その結果、測定動作（高さデータサンプリング）のために探針 1 4 が試料表面に接近する区間 3 1 において、試料 1 3 の移動に対して探針 1 4 が伴走することになり、試料 1 3 に対する探針 1 4 の相対速度が実質的に 0 になる。この区間 3 1 において、前述のごとく試料表面の追従動作が行われ、状態③で圧電素子 1 7 のサーボ制御信号である電圧  $V_z$  を利用して Z 方向の高さ情報が読み出される。区間 3 1 を定める従走査のためのストロークは例えば  $10 \mu m$  程度である。測定動作が終了し、区間 3 1 が終了する時点（状態④）になると、前述のごとく探針 1 4 は試料の表面から退避させられるが、このとき制御装置 2 5 は同時に圧電素子 1 7 の X Y 方向微動部を逆走動作させる。区間 3 2 は逆走の区間を示している。逆走が完了（状態⑥）した後、区間 3 3 では圧電素子 1 7 の X Y 方向微動部は停止状態に保持される。次のサンプリング位置 P 2 が到来すると、以上の伴走動作および逆走動作を繰り返す。こうして多数のサンプリング位置が到来するたびに上記相対速度が 0 になるような伴走動作が間欠的に繰り返される。上記のごとく、サンプリングの際に伴走動作が行われるため、探針が試料表面に接近し、離れるまでの間、探針に試料表面に平行な力が働くことを防止することができる。このため、探針（カンチレバー）の Z 方向の変位のみでサーボ制御を行うことができ、測定の再現性が向上し、測定の信頼性が向上する。また探針で試料表面を測定する際に、試料ステージである X Y スキャナ 1 2 の等速の移動を止めることなく測定を行うことができるので、測定のスループットを向上することができる。



## 【0035】

上記の実施形態では、各サンプリング位置で探針 1 4 を試料表面に接近させたとき、探針を伴走を行った後に逆走するようにしたが、サンプリング位置ごとの逆走は必ず必須のものではない。例えば、図 3 に示されるような X 方向の或る走査ラインでの + 側への走査における測定で各サンプリング位置で接近時に伴走を行って退避時は補助移動機構を停止して次のサンプリング位置で接近したときのみ伴走を繰り返し X 方向の走査ラインの最終まで測定を行い、その後、走査ラインを次の走査ラインに変更して（Y 方向に所定量送り）X 方向の - 側への走査で各サンプリング位置での接近時に X 方向の - 側（先ほどとは反対側）へ伴走を行うように構成すれば、探針位置をもとの所定位置に戻すための前述のサンプリング位置での逆走動作は不要となる。

## 【0036】

上記の実施形態では、サンプリング位置で探針を試料表面に接近させ測定動作を行うとき、XY スキャナによる走査移動と同等速度で同方向に伴走用の走査移動を生じさせる補助移動機構として圧電素子 1 7 の XY 方向微動部を利用したが、圧電素子 1 7 とは別途の構成で補助移動機構を設けることができるのは勿論である。

## 【0037】

図 1 と図 2 に示された前述の実施形態では、広域で設定された領域で測定を行うときに、走査範囲で設定された多数のサンプリング位置の各々で探針 1 4（カンチレバー 1 5）を接近させ、退避させるために、圧電素子 1 7、1 8 の 2 段構成で Z 方向駆動装置 1 6 を構成したが、接近・退避のための Z 方向駆動装置には前述の構成に限定されない。

## 【0038】

図 4 と図 5 に 2 段の圧電素子で構成される他の Z 方向駆動装置の構成例と動作例を示す。前述した実施形態で説明した要素と実質的に同一の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。

## 【0039】

この例では Z 方向駆動装置 1 6 は圧電素子 5 1、5 2 の 2 段構成となっている

。下側の圧電素子 5 1 は Z 方向の探針移動に関してサーボ用圧電素子である。圧電素子 5 1 は測定の際の表面追従のサーボ用圧電素子としてのみ使用される。上側の圧電素子 5 2 は接近・退避動作専用の圧電素子として使用される。

## 【0040】

図 4 では前述のサーボ制御装置 2 4 と制御装置 2 5 の内部構造の一例が示されている。サーボ制御装置 2 4 は、基準距離を設定するための信号  $s_0$  を出力する基準距離設定器 3 1 と、信号  $s_1$  と信号  $s_0$  の偏差  $\Delta s$  を算出する減算器 3 2 と、偏差  $\Delta s$  に基づき制御信号  $V_z$  を出力する制御回路 3 3 とから構成されている。また制御装置 2 5 は、信号処理装置 4 1 と表示装置 4 2 と X Y 走査回路 4 3 を内蔵する。サンプリング位置における探針の接近・退避の動作は、接近・退避用信号  $s_5$  に基づき圧電素子 5 2 の伸縮動作によって行われる。この接近・退避用信号  $s_5$  は周期的に発生するパルス信号であり、前述の電圧信号  $V_r$  と実質的に同じものである。接近・退避用信号  $s_5$  は、別途に設けた前述の接近・退避信号供給器から与えられるように構成することができ、あるいは上位の制御装置 2 5 の信号処理装置 4 1 から与えられるように構成することもできる。

## 【0041】

図 5 は前述の図 2 に対応する図である。図 5 で、(A) で試料 1 3 に対する圧電素子 5 2 の接近・退避の動作状態 (a, b) を示し、(B) でタイミングチャートを示し、このタイミングチャート (B) では前述の実施形態と同様なサンプリング位置 P 1, P 2 での測定動作例が示されている。図 5 のタイミングチャート (B) では、上段から、X Y スキャナ 1 2 に含まれる X スキャナによる X 方向の速度、基準距離を設定する信号  $s_0$ 、接近・退避用の信号  $s_5$ 、探針・試料間距離、電圧  $V_z$  の変化状態のそれぞれを示している。またタイミングチャートで横軸は移動方向である X 方向に対応させている。探針・試料間距離は、信号  $s_5$  で正パルス電圧 5 3 が発生するときには 0 になり (区間①)、正パルス電圧 5 3 が発生していないときには退避状態の一定距離で離れた状態にある (区間②)。またサーボ用圧電素子 5 1 に印加される電圧  $V_z$  に関しては、サンプリング位置 (P 1, P 2) に対応する区間①では探針が試料表面に接近して試料表面に追従するので、 $V_z$  のサーボ値となり、移動のための区間②では探針は試料表面から

退避し離れた状態で移動しているので、探針・試料間距離を基準距離にすべく圧電素子 5 1 は最大ストロークで伸び、 $V_z$  の最大値となっている。サンプリング位置 P 1, P 2 の区間①内の 1 点の  $V_z$  のサーボ値を測定データとして取得する。接近・退避動作のための圧電素子 5 2 の伸縮動作について、圧電素子 5 2 の駆動範囲における最大位置と最小位置の両端で行うこともできるし、あるいは、駆動範囲における一定位置と他の一定位置の間の 2 点間で行うこともできる。以上の構成によれば、測定動作のサーボ用圧電素子 5 1 に対して独立させて別個に設けた接近・退避用の圧電素子 5 2 によって、サンプリング位置で探針 1 4 を試料 1 3 の表面に対して接近・退避させることが可能となる。この構成によって、前述の実施形態で説明した効果を発揮しつつ広域走査によって広域測定を行うことができる。第 3 の実施形態においても、測定のための制御動作では、サーボ制御系が常に能動状態に保持され、圧電素子 5 1 の動作に関してサーボ制御が継続される。

## 【0042】

上記のごとく広域測定での各サンプリング位置で探針が接近・退避するとき、前述したように、探針に伴走および逆走の各動作を行わせる。この場合には、伴走・逆走用の補助移動機構は、例えば Z 方向駆動装置 1 6 の全体を動かす機構として別途に設けられる。補助移動機構としては任意の装置を使用することができる。また本実施形態の場合にも前述のごとく逆走は必須の要件ではない。

## 【0043】

図 6 と図 7 に単一の圧電素子で構成される他の Z 方向駆動装置の構成例と動作例を示す。前述した各実施形態で説明した要素と実質的に同一の要素には同一の符号を付し、その説明を省略する。この構成例では Z 方向駆動装置 1 6 は単一の圧電素子 6 1 で構成されている点に特徴がある。単一の圧電素子 6 1 によって、前述のごとくサンプリング位置での接近・退避動作と、表面追従の測定動作を行うようにしている。試料ステージである XY スキャナ 1 2、試料 1 3、探針 1 4、カンチレバー 1 5、レーザ光源 2 2、光検出器 2 3 の構成は前述したものと同じである。

## 【0044】

サーボ制御装置 2 4 は、図 4 で示した構成と比較すると、Z 方向駆動装置 1 6 を単一の圧電素子 6 1 で構成した観点から、加算器 3 4 と接近・退避信号供給器 3 5 とが付設されたという点が異なる。このサーボ制御装置 3 0 では、加算器 3 4 で、基準距離設定器 3 1 から出力される基準距離に関する電圧信号  $s_0$  と、接近・退避信号供給器 3 5 から出力される接近・退避用の電圧信号  $s_{01}$  とが加算（合成）される。そして減算器 3 2 で、加算器 3 4 から出力される電圧信号  $s_0$  2 と、入力された検出信号  $s_1$  と加算器 3 4 から出力される電圧信号  $s_0$  2 との差を求められる。制御回路 3 3 は、減算器 3 2 から出力された差信号  $\Delta s$  が 0 となるように、圧電素子 6 1 を動作させる制御用電圧信号  $V_z$  を出力する。上記の接近・退避用の電圧信号  $s_{01}$  は周期的に出力されるパルス信号である。加算器 3 4 から出力される電圧信号  $s_0$  2 は、電圧信号  $s_0$  と接近・退避動作を行わせるための電圧信号  $s_{01}$  とを加えたものである。制御回路 3 3 から出力された制御用電圧信号  $V_z$  は圧電素子 6 1 に印加される。また制御装置 2 5 の構成は前述したものと同一である。上記の構成によれば、測定が開始されると、サーボ制御系は常に能動状態に維持され、サンプリング位置の間の移動時およびサンプリング位置での測定時のそれぞれで圧電素子 6 1 の伸縮動作に関してサーボ制御が継続される。

## 【0045】

図 7 を参照して、図 6 に示した構成に基づく測定動作を説明する。図 7 において (A) で試料 1 3 に対する圧電素子 6 1 の接近・退避の動作を示し、(B) でタイミングチャートを示している。この原子間力顕微鏡によれば、圧電素子 6 1 は、印加電圧  $V_z$  で伸縮動作を行い、サンプリング位置では、接近・退避信号  $s_{01}$  によって圧電素子 6 1 は破線で示すごとく大きく伸び、探針 1 4（カンチレバー 1 5）を試料 1 3 の表面に接近させて押し付ける（状態 a）と共に、この状態でサーボ制御系に基づき試料表面を追従して表面の凹凸を測定し、その後、接近・退避信号  $s_{01}$  によって圧電素子 6 1 は実線で示すごとく大きく縮み、探針 1 4 を試料 1 3 の表面から退避させ（状態 b）、次のサンプリング位置への移動を行う。

## 【0046】



図 7 のタイミングチャート (B) では、上段から、X Y スキャナ 1 2 に含まれる X スキャナによる X 方向の速度、基準距離を設定する信号  $s_0$ 、接近・退避用の信号  $s_{01}$ 、信号  $s_0$  と信号  $s_{01}$  の和、電圧  $V_z$  の変化状態のそれぞれを示す。探針 1 4 が試料 1 3 の表面に接近させられる場合において探針・試料間の距離を設定する信号  $s_0$  は、常に、予め設定された値 (電圧値  $V_0 > 0$ ) に常に保たれている。原子間力顕微鏡による測定という意味で、本実施形態による測定の構成によれば、サーボ制御が常にかかった状態に保持され、サーボ制御が継続されている。信号  $s_0$  は正の一定電圧に設定されているので、実際に探針が試料表面に接近させられると、探針は試料表面に押し付けられる。探針を試料表面に押し付ける押付け力は、信号  $s_0$  の電圧値  $V_0$  によって決められる。測定を行うサンプリング位置 P 1, P 2 では、接近・退避信号供給器 3 5 から出力される接近・退避用の電圧信号  $s_{01}$  は 0 になっており、加算器 3 4 から出力される電圧信号  $s_{02}$  は  $s_0$  である。従って、各サンプリング位置では、従来の原子間力顕微鏡における場合と同様に、試料表面の追従に基づく表面測定が行われる。サンプリング位置 P 1 で測定が終了した後、次のサンプリング位置 P 2 に移動するが、このときには接近・退避信号供給器 3 5 から  $-V_1$  が出力される。この電圧値はその絶対値が上記電圧  $V_0$  よりも大きく、負の電圧である。従って加算器 3 4 から出力される電圧信号  $s_{02}$  ( $= s_0 + s_{01}$ ) は  $-V_2$  ( $= V_0 - V_1$ ) となる。その結果、試料表面に対する探針の押付け力は、負の押付け力すなわち引力に設定される。サーボ制御系は前述の通り常に効いているので、押付け力が負になると、探針 1 4 は試料表面から退避させられる。実際には、表面張力を越える負の力には制御できないので、探針は完全に退避し、この状態においてサーボ制御系は保持される。従って、探針は試料表面から離れた状態で、サンプリング位置 P 1 から次のサンプリング位置 P 2 へ移動する。サンプリング位置 P 2 に来ると、接近・退避信号供給器 3 5 の出力が一定期間 0 になり、その間、加算器 3 4 から出力される電圧信号  $s_{02}$  が  $V_0$  になり、圧電素子 6 1 は大きく伸びて探針 1 4 が試料 1 3 の表面に押し付けられ、表面追従に基づく測定が行われる。なお圧電素子 6 1 に印加される制御用の電圧  $V_z$  は、探針 1 4 が試料 1 3 の表面に接近した状態では、前述した通りサーボ制御系の継続的な働きにより試料表面に追



従するように圧電素子 6 1 の伸縮動作を制御するので、図 7 (B) に示されるように、パルス状の電圧 4 4 の上に試料表面の凹凸分の信号 4 5 が重畳されているという特性を有する。

#### 【0 0 4 7】

上記のごとく広域測定での各サンプリング位置で探針が接近・退避するとき、前述したように、探針に伴走および逆走の各動作を行わせる。この場合には、伴走・逆走用の補助移動機構は、例えば Z 方向駆動装置 1 6 の全体を動かす機構として別途に設けられる。補助移動機構としては任意の装置を使用することができる。また本実施形態の場合にも前述のごとく逆走は必須の要件ではない。

#### 【0 0 4 8】

また上記の接近・退避用圧電素子の代わりに、一般的な接近・駆動用の駆動装置、例えばモータを利用した駆動装置、空圧や油圧を利用した駆動装置を用いることもできる。このような構成では、接近・退避用駆動装置に前述のサーボ用圧電素子を付設した構成が好ましい。

#### 【0 0 4 9】

上記実施形態では、広域走査を行える移動機構として試料側を移動させる X Y スキャナを設けたが、探針側に移動機構を設けることもできる。また走査型プローブ顕微鏡の例として原子間力顕微鏡について説明したが、他の方式の走査型プローブ顕微鏡に対しても本発明を適用できるのは勿論である。

#### 【0 0 5 0】

#### 【発明の効果】

以上の説明で明らかなように本発明によれば、試料表面を探針で広域走査できる移動機構を設け、測定の際に試料表面を追従する探針の変位を生じさせる圧電素子と、試料表面に対する探針の接近、試料表面からの探針の退避を行う駆動装置を設け、広域の測定領域における各サンプリング位置での接近・退避動作および測定動作を行えるようにしたため、mm 級の広い走査範囲に対する試料表面の凹凸情報を nm 以下の分解能で測定することができ、さらに、かかる広域測定において、測定動作を行うべくサンプリング位置で探針が試料表面に接近するとき、試料に対する探針の相対速度が 0 になるように伴走動作を行わせるように構成

したため、試料表面に平行力の成分を 0 にでき、測定の再現性が向上し、測定の信頼性を向上することができる。さらに摩擦力の影響をなくすることができるため、探針の摩耗をなくことができ、超広域の測定を可能にし、探針の交換頻度を低減し、スループットを向上することができる。また走査において試料を等速度で移動させ、止める必要がないので、スループットをさらに向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の全体システムを示す構成図である。

【図 2】

本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の測定の際の接近・退避の動作を説明する図である。

【図 3】

本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の測定の際の伴走の走査動作を説明する図である。

【図 4】

本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の全体システムの他の例を示す構成図である。

【図 5】

図 4 に示した走査型プローブ顕微鏡の測定の際の接近・退避の動作を説明する図である。

【図 6】

本発明に係る走査型プローブ顕微鏡の全体システムの他の例を示す構成図である。

【図 7】

図 6 に示した走査型プローブ顕微鏡の測定の際の接近・退避の動作を説明する図である。

【図 8】

カンチレバーの本来のたわみ変形を説明する図である。

【図 9】

探針に試料表面に平行な力が加わったときのカンチレバーのたわみ変形の問題を説明する図である。

【図 1 0】

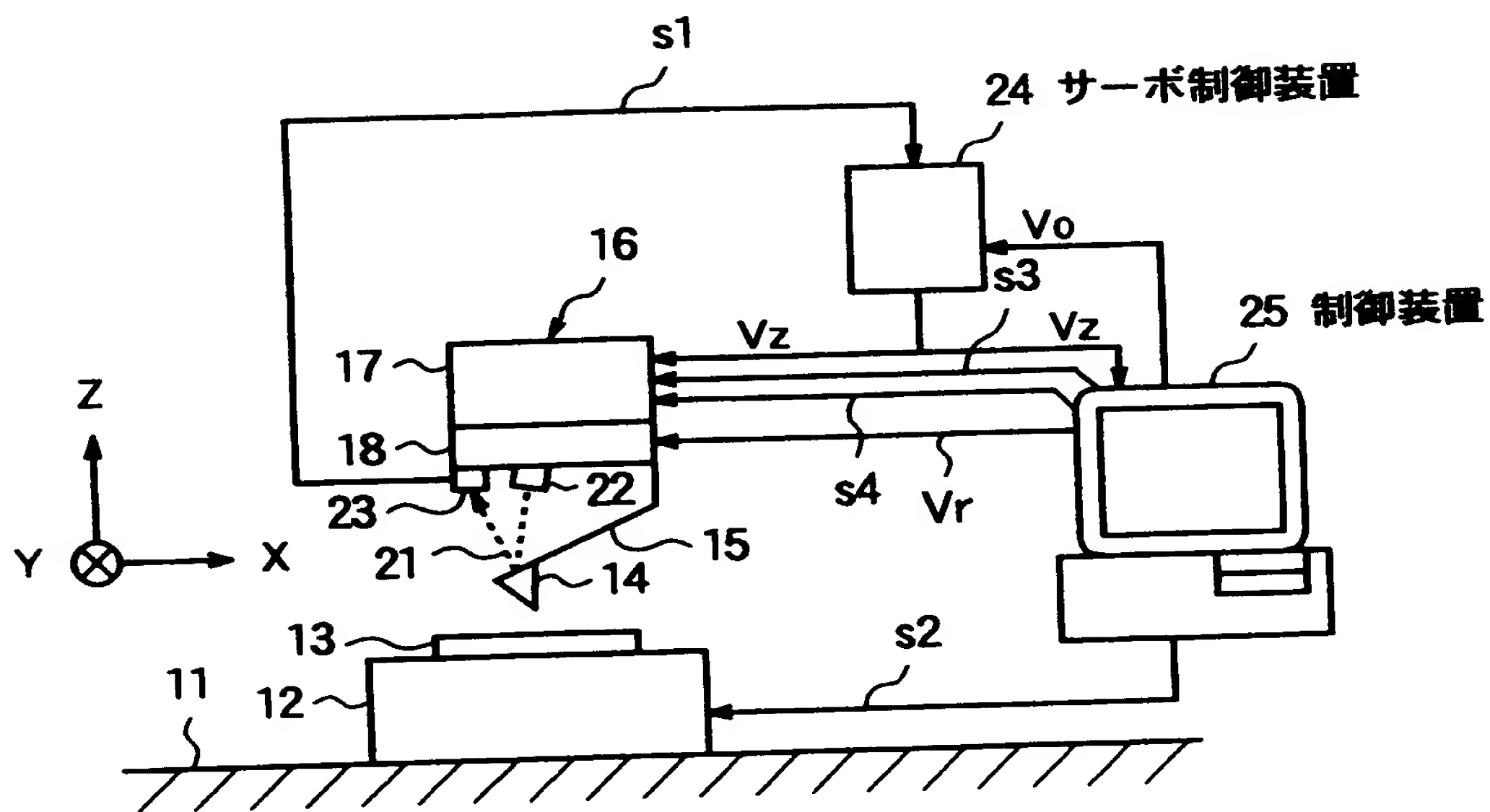
探針に表面吸着層の影響が加わったときの問題を説明する図である。

【符号の説明】

1 2	X Y スキャナ
1 3	試料
1 4	探針
1 5	カンチレバー
1 6	Z 方向駆動装置
1 7	圧電素子
1 8	接近・退避用圧電素子
2 4	サーボ制御装置
2 5	制御装置
5 1	圧電素子
5 2	接近・退避用圧電素子
6 1	圧電素子

【書類名】 図面

【図 1】



11 : テーブル

12 : XY スキャナ

13 : 試料

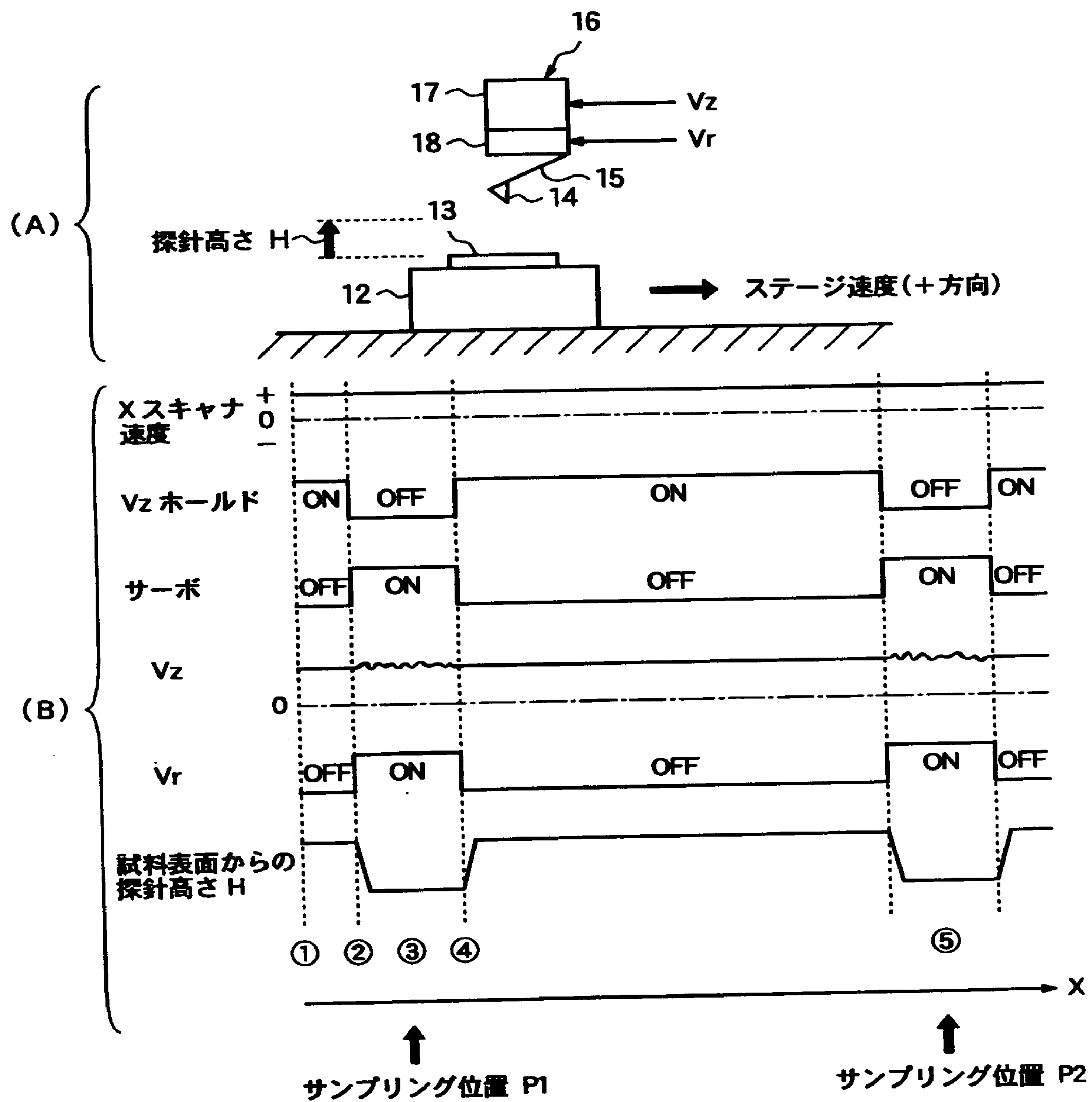
14 : 探針

15 : カンチレバー

16 : Z 方向駆動装置

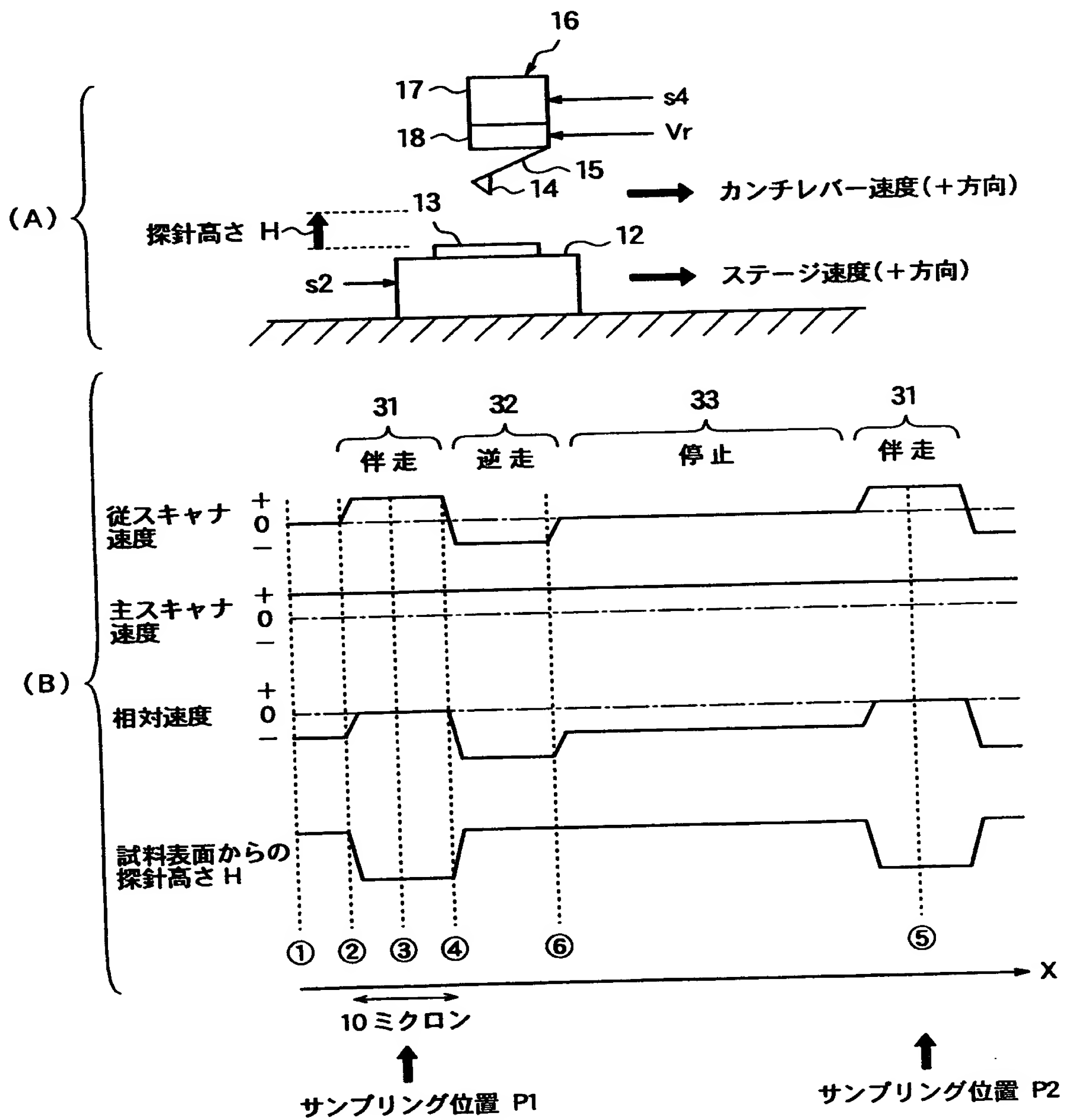
17, 18 : 圧電素子

【図 2】

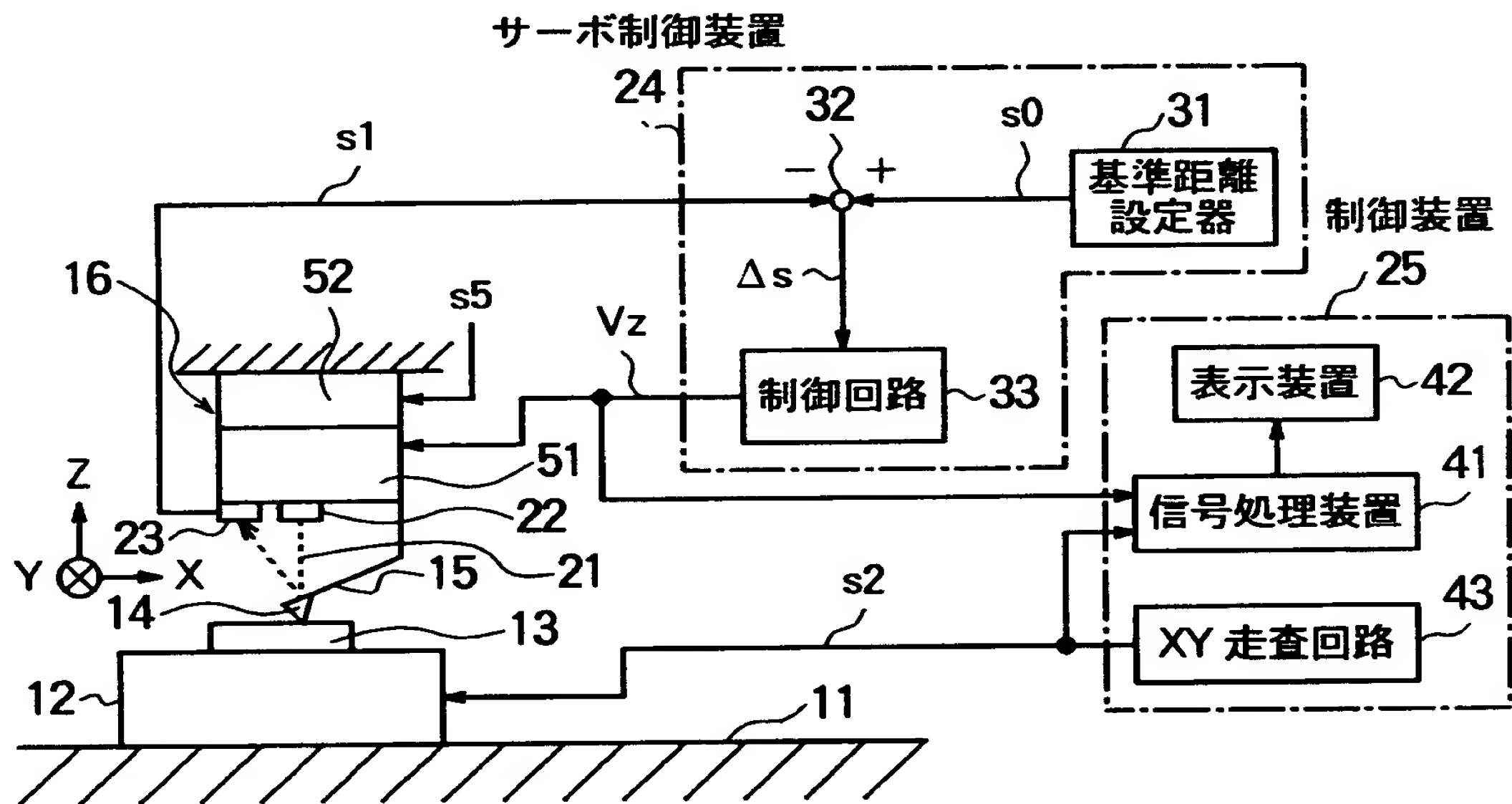




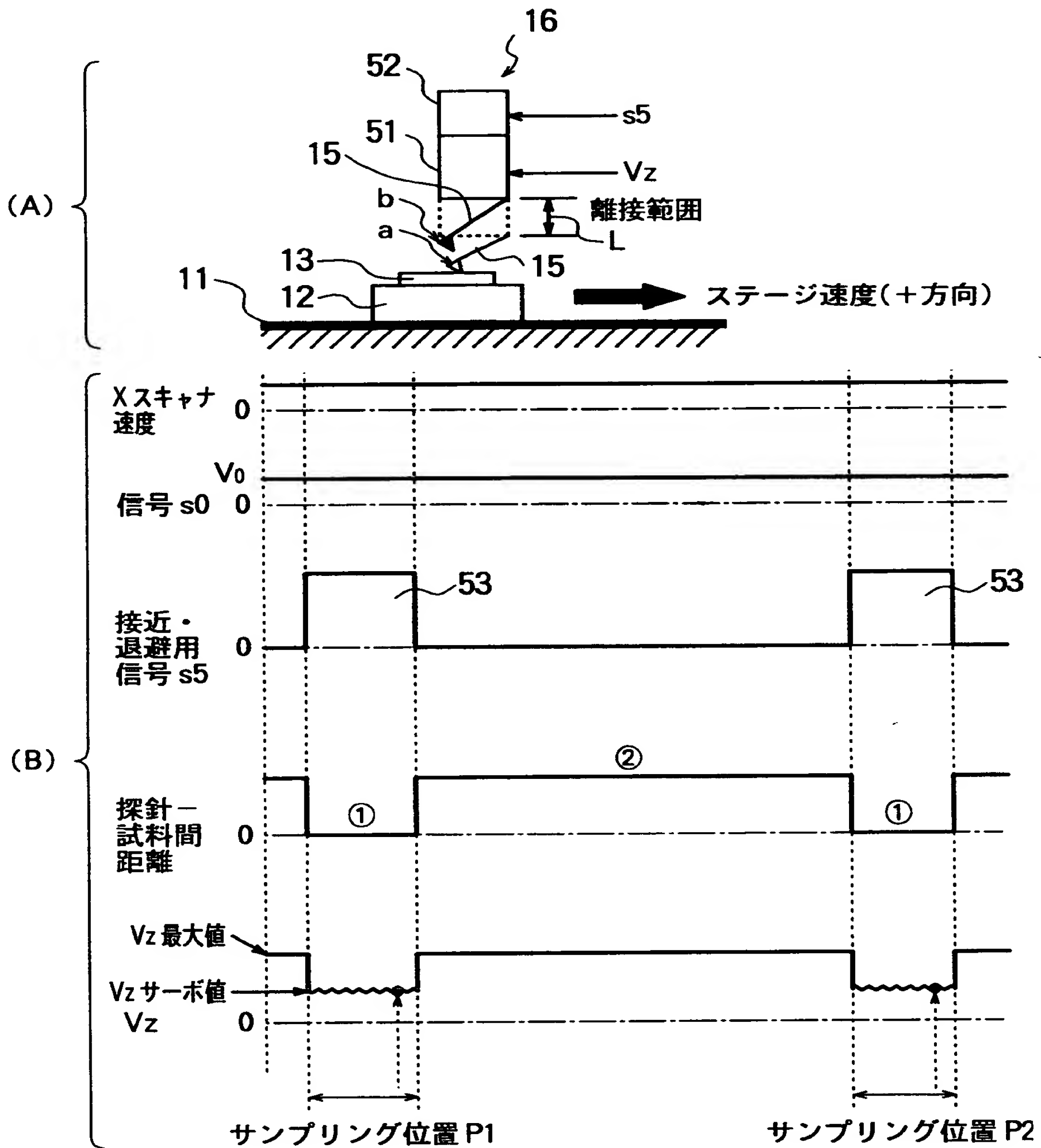
【図 3】



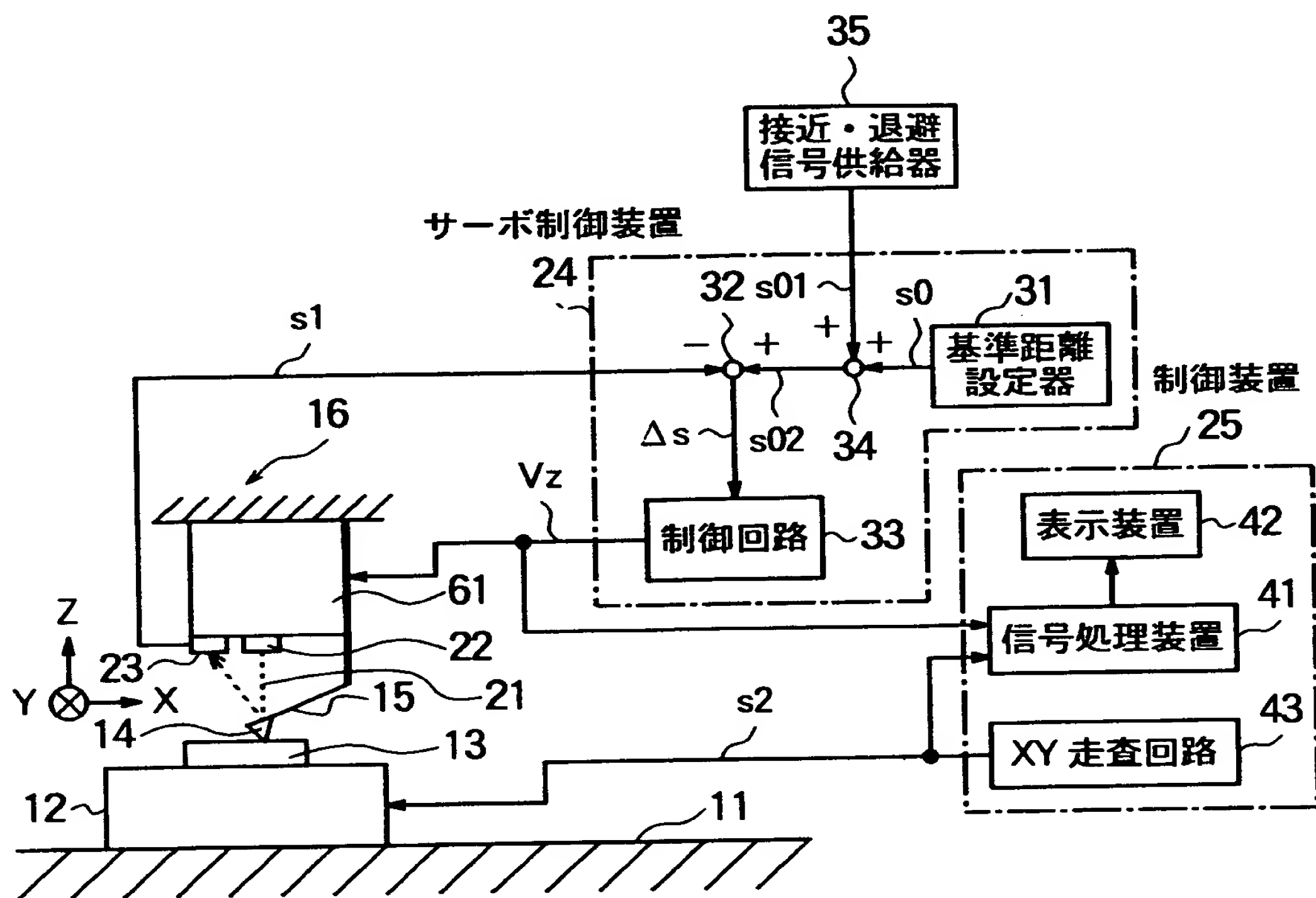
【図 4】



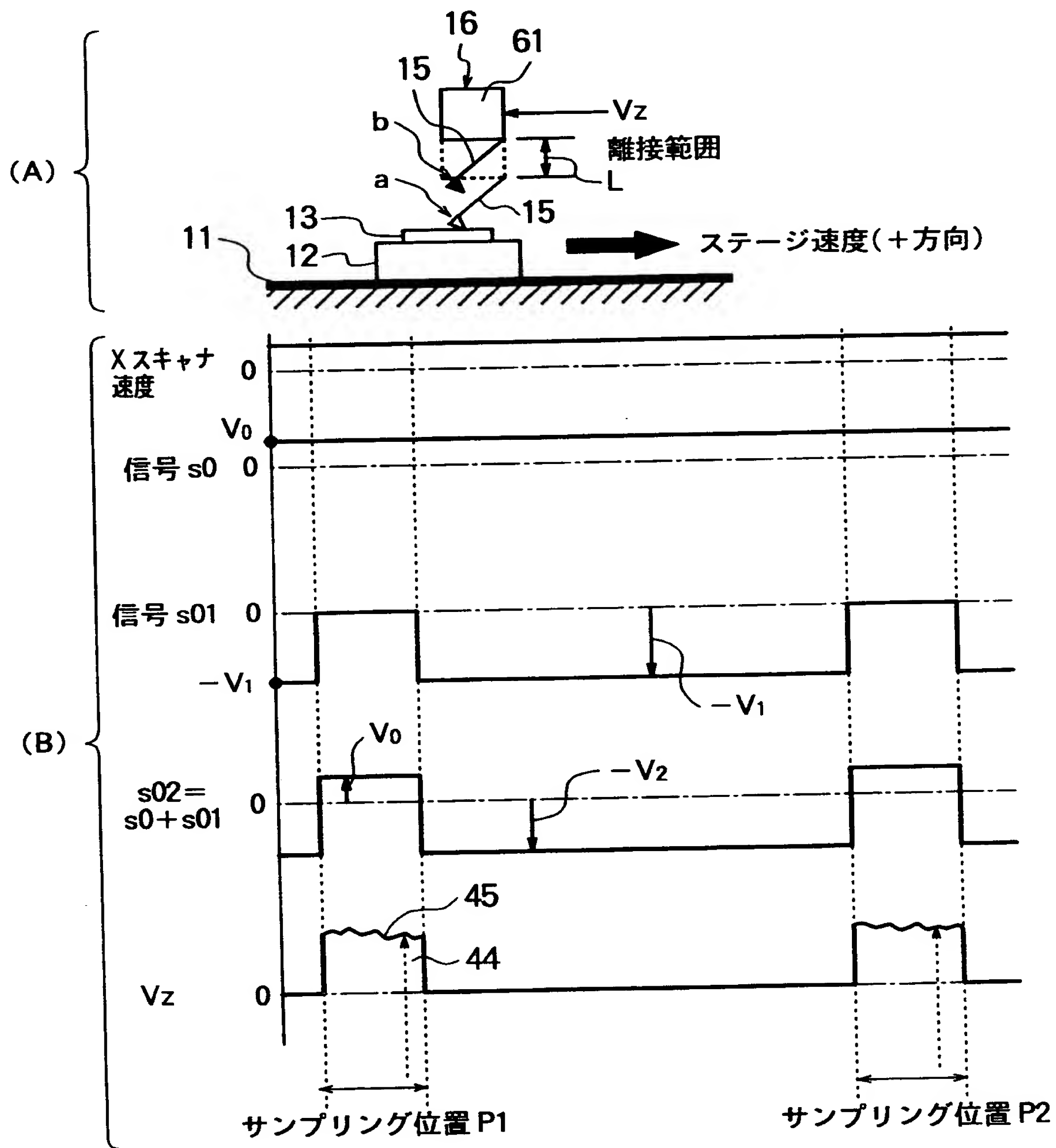
【図 5】



【図 6】

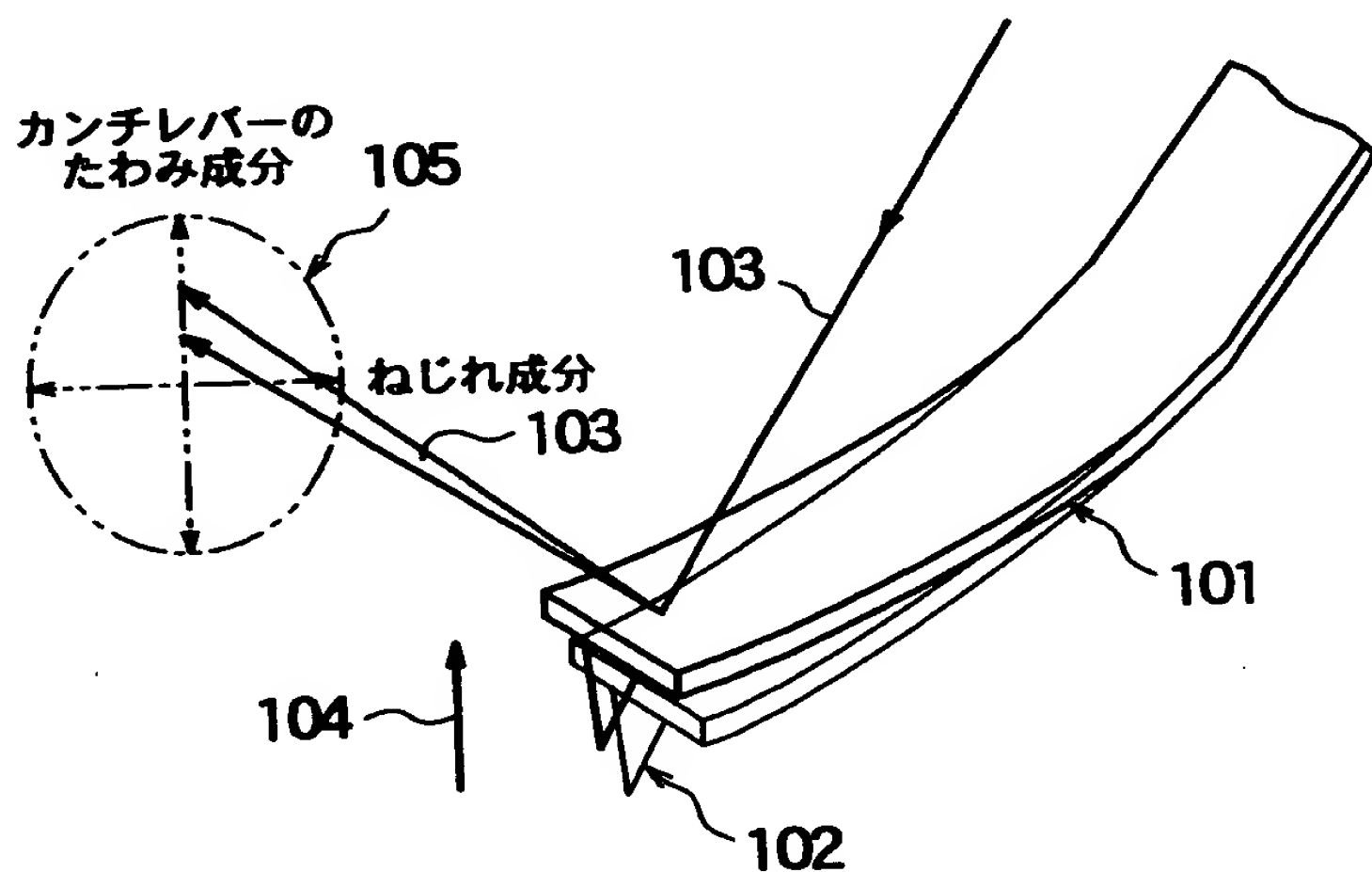


【図 7】

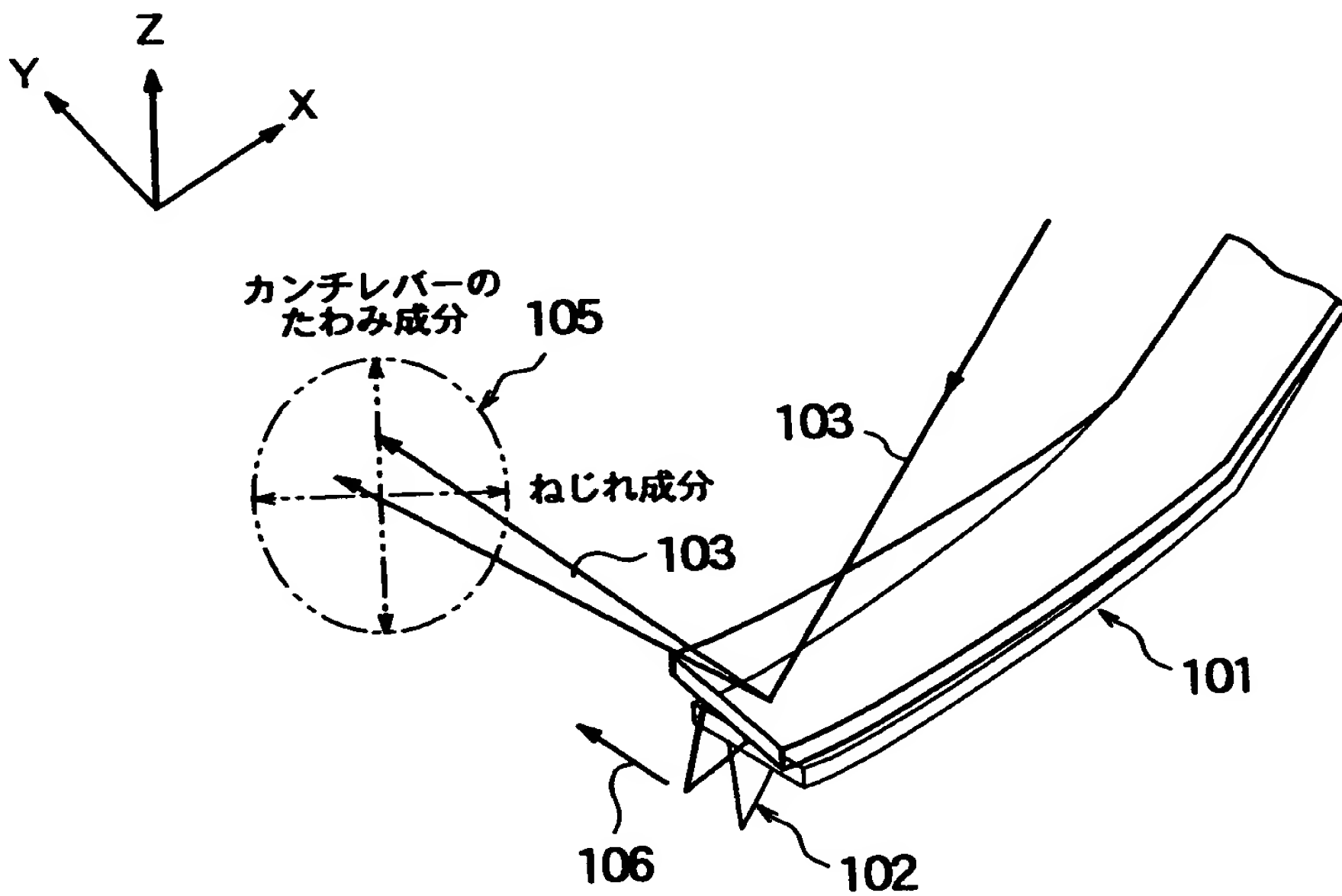




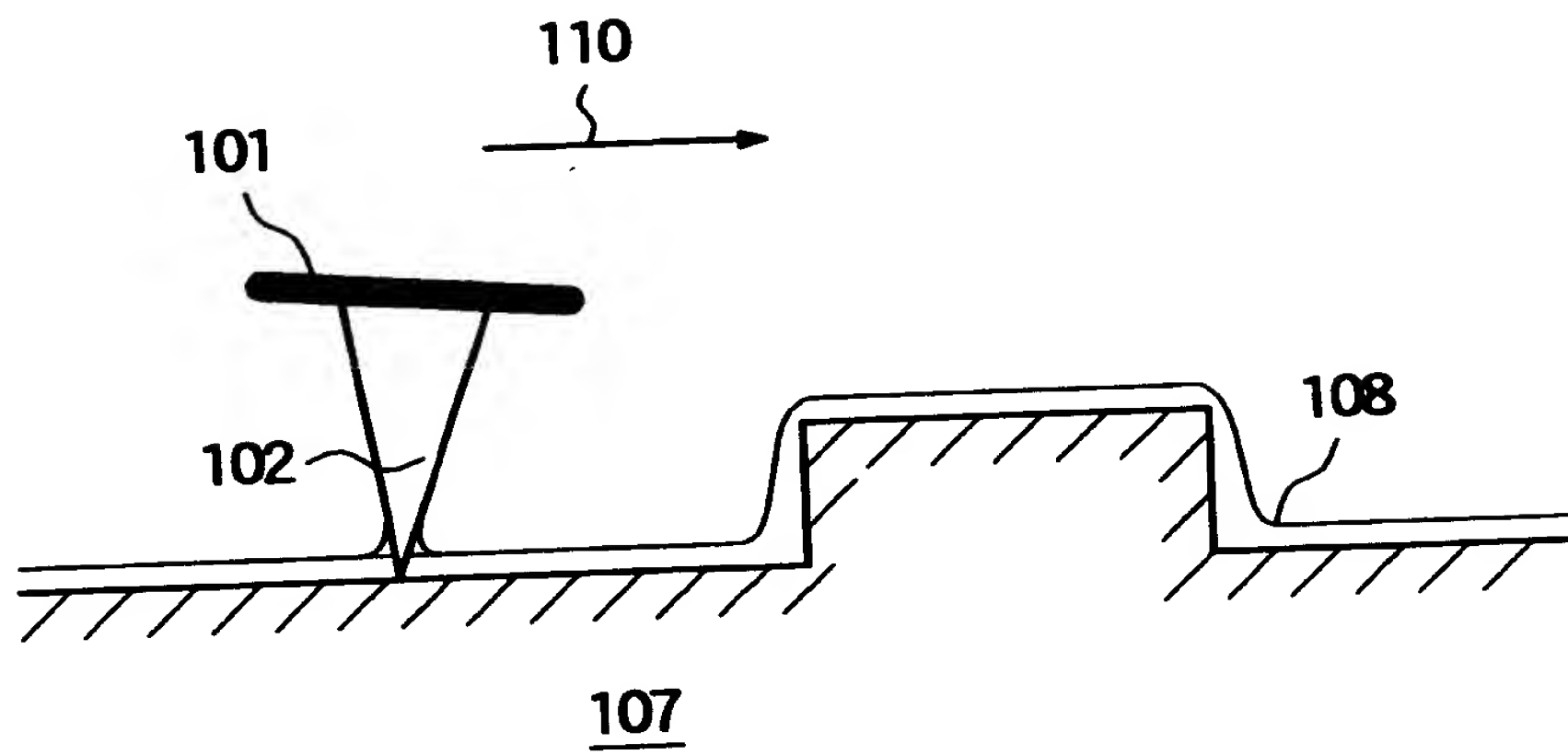
【図 8】



【図 9】



【図 1 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】  $\mu\text{m}$ 級の微小対象物の観察を行える走査型プローブ顕微鏡で、探針に加わる好ましくない試料表面に平行な力を除き、 $\text{mm}$ 級の広域走査の測定を探針摩耗等の問題を起こすことなく高い再現性、測定精度で行えるようにする。

【解決手段】 探針 1 4 による試料表面の走査を広域的に行わせる X Y スキャナ 1 2 と、サンプリング位置で探針を試料表面に接近させ、サンプリング位置の間の移動では探針を試料表面から退避させる圧電素子 1 8 と、サンプリング位置での測定動作でサーボ制御系に基づき探針と試料表面との間の距離を設定された基準距離に保ち、かつサンプリング位置で探針を試料の表面に接近させ測定動作を行うとき、X Y スキャナによる走査移動と同等速度で同方向に伴走用の走査移動を生じさせる圧電素子 1 7 を備える。測定箇所が一定間隔で離散的な複数のサンプリング位置として定められ、サンプリング位置で接近・退避動作と伴走動作が行われる。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	平成 1 1 年 特許願 第 2 1 1 4 1 9 号
受付番号	5 9 9 0 0 7 1 6 6 9 6
書類名	特許願
担当官	伊藤 雅美 2 1 3 2
作成日	平成 1 1 年 8 月 1 0 日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000005522
【住所又は居所】	東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号
【氏名又は名称】	日立建機株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】	100094020
【住所又は居所】	東京都豊島区東池袋 1 丁目 2 0 番 2 号 池袋ホワ イトハウスビル 7 0 5 号 田宮特許事務所
【氏名又は名称】	田宮 寛祉

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 5 2 2]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 2 号

氏 名 日立建機株式会社